

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ И ЗОНЫ АЭРАЦИИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Коннов Д.В., Пашковский И.С. (Геолинк)

Из всех технологий ликвидации последствий нефтепродуктового загрязнения почв нефтепродуктами, наиболее щадящей к окружающей среде является биоочистка на месте загрязнения. Биологическая очистка представляет собой внесение в почву бактерий, способных разлагать нефтепродукт и вырабатывающих вещества, способствующих его быстрому вымыванию (биогенных ПАВ), а также веществ, необходимых для их роста.

В настоящее время в процессе биоочистки используются преимущественно аэробные бактерии. Исследованиями показана их способность активно разлагать углеводороды, определены требования к условиям, наиболее благоприятствующим их росту. Их метаболизм подробно изучен и показано, что продукты переработки микроорганизмами нефтепродуктов не опасны для человека и окружающей среды.

На стадии планирования и осуществления проекта биоочистки для оценки времени очистки (а значит, и стоимости работ), а также выбора оптимальных параметров всего технологического процесса, целесообразными представляются прогнозы хода очистки на всех ее стадиях. Для таких прогнозов широко используют математическое моделирование.

На основе имеющихся литературных и экспериментальных данных были рассмотрены следующие процессы — это разложение нефтепродукта бактериями, рост и отмирание бактерий, выработка бактериями поверхностно-активных веществ, переход нефтепродукта в эмульсию, перенос бактерий с инфильтрующейся водой с учетом их сорбции и десорбции, перенос эмульсии нефтепродукта с инфильтрующейся водой.

С учетом этих процессов предлагается следующая система уравнений.

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\mu_m \cdot (G - \chi \cdot G_0)}{K_s + (G - \chi \cdot G_0)} \cdot M - \lambda \cdot M - \frac{v}{n_s^m} \cdot \frac{\partial M}{\partial x} \\ \frac{\partial G}{\partial t} &= -\frac{1}{q} \cdot \frac{\mu_m \cdot (G - \chi \cdot G_0)}{K_s + (G - \chi \cdot G_0)} \cdot M - \frac{v \cdot n}{\rho} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \\ n \cdot \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\alpha}{q_s} \cdot \frac{\mu_m \cdot (G - \chi \cdot G_0)}{K_s + (G - \chi \cdot G_0)} \cdot M - v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \end{aligned}$$

где M — концентрация бактерий в грунте, μ_m — максимальная скорость роста бактерий, G — концентрация нефтепродукта в грунте, G_0 — начальная концентрация нефтепродукта в грунте, χ — доля неразлагаемой части нефтепродукта, K_s — константа сродства субстрата к микроорганизму, λ — скорость отмирания бактерий, n_s^m — эффективная пористость, v — скорость инфильтрации воды, q — коэффициент пропорциональности, связывающий количество образовавшихся клеток с поглощенным субстратом, n — пористость, ρ — плотность грунта, C — концентрация эмульгированного нефтепродукта в почвенной воде, α — число молекул ПАВ, образующих мицеллу, q_s — коэффициент пропорциональности, связывающий количество образовавшихся биоПАВ с поглощенным субстратом.

С помощью численной модели, разработанной на основе этой системы уравнений, можно рассчитать такие интегральные величины, как концентрацию нефтепродукта и нефтеокисляющих бактерий в толще грунта на заданный расчетный период, концентрацию нефтепродукта, вымываемого из загрязненного слоя грунта, а также изменение концентрации свободного нефтепродукта в зависимости от глубины, его вертикальный перенос в грунте и распределение бактерий в толще грунта на заданный момент времени.

Начальными условиями являются исходное распределение свободного нефтепродукта, эмульгированного нефтепродукта и бактерий. Граничным условием является концентрация бактерий в подаваемом растворе.

На рис.1 приведены результаты моделирования очистки, осуществляемой путем промывки раствором биопрепарата толщи загрязненного бензином грунта мощностью 5 м при средней концентрации 5 г/кг грунта.

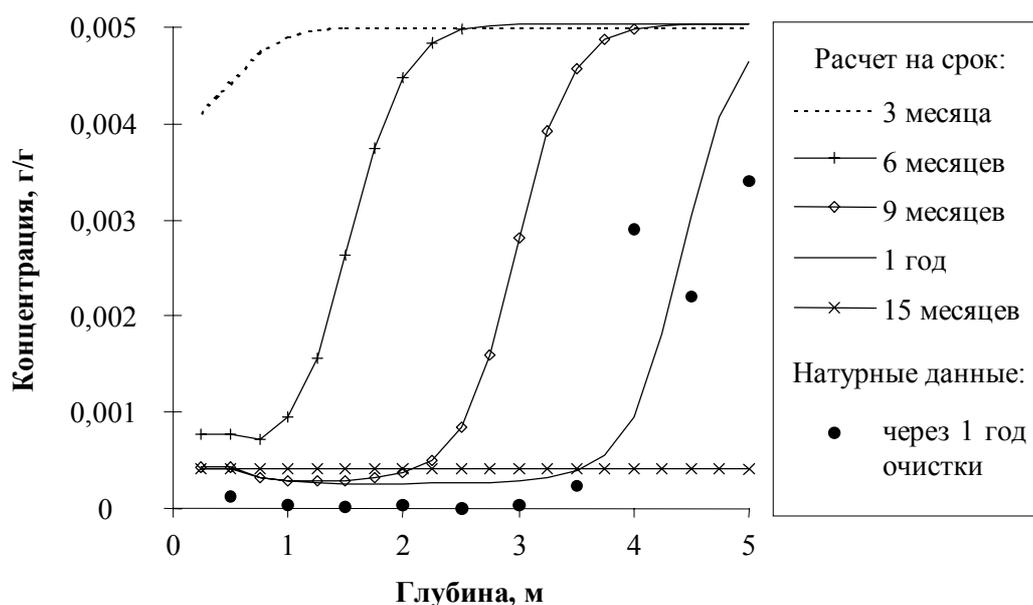


Рис.1. Результаты расчета и наблюдаемая концентрация нефтепродукта

Сравнение результата прогнозного расчета убыли нефтепродукта через год очистки с данными полевых наблюдений показало хорошее совпадение.

Данная модель была также проверена и параметризована в ходе серии лабораторных экспериментов, проведенных в сотрудничестве с лабораторией нефтяной микробиологии РАН.

Разработанная математическая модель позволяет определять убыль нефтепродукта на заданный расчетный период, изменение его концентрации в зависимости от глубины, изменение концентрации бактерий во времени, их распределение в толще грунта, концентрацию нефтепродукта, вымываемого из загрязненного слоя грунта, его вертикальный перенос в грунте.

A MODEL OF MICROBIOLOGICAL REMEDIATION OF PETROLEUM HYDROCARBON CONTAMINATED SOIL AND VADOSE ZONE

D.V. Konnov, I.S. Pashkovsky (Geolink)

The most environmentally friendly technology of cleanup of petroleum products contaminated soils is in situ bioremediation. By in situ bioremediation the bacteria able to destroy hydrocarbons and produce surfactants and also nutrients, that are necessary for their growth, are introduced in contaminated soil.

Nowadays in bioremediation are usually used the aerobic bacteria. The investigations have demonstrated their capability of rapid destruction of hydrocarbons, also are defined the favorable conditions for their growth. Their metabolism is explicitly studied and it is shown, that conversion products are not hazardous to the environment and men's health.

At the stages of the design and execution of a decontamination project for evaluation of necessary quantity of time of remediation (namely a cost of work process) and choice of optimal conditions for all the process, it seems appropriate to predict the run of remediation on all its stages. For that predictions are used the mathematical models.

On the base of published and experimental data are considered the following processes: the destruction of hydrocarbons by bacteria, the growth and death of bacteria, the production of biosurfactants by bacteria, emulsification of hydrocarbons, transport of bacteria with infiltrating water with their sorption and desorption, transport of emulsified hydrocarbons with infiltrating water. Taking in account all these processes, the system of equations can be written as following:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{\hat{i}_m \cdot (G - \div \cdot G_0)}{K_s + (G - \div \cdot G_0)} \cdot M - \ddot{e} \cdot M - \frac{v}{n_s^m} \cdot \frac{\partial M}{\partial x} \\ \frac{\partial G}{\partial t} &= -\frac{1}{q} \cdot \frac{\hat{i}_m \cdot (G - \div \cdot G_0)}{K_s + (G - \div \cdot G_0)} \cdot M - \frac{v \cdot n}{\rho} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \\ n \cdot \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\alpha}{q_s} \cdot \frac{\mu_m \cdot (G - \chi \cdot G_0)}{K_s + (G - \chi \cdot G_0)} \cdot M - v \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \end{aligned}$$

where M — concentration of bacteria in soil, μ_m — maximum specific growth rate, G — concentration of petroleum product in soil, G_0 — initial concentration of petroleum product in soil, χ — part of nondegradative part of petroleum product, K_s — half velocity constant for growth, λ — rate of death of bacteria, n_s^m — effective porosity, v — water infiltration rate, q — amount of cell produced per substrate consumed, n — porosity, ρ — density of soil, C — concentration of emulsified hydrocarbons in soil water, α — number of molecules of surfactant, forming micelle, q_s — amount of surfactant produced per substrate consumed.

With the use of numerical model, developed on a base of this system of equations, such integral values can be calculated: concentration of petroleum products and oil-degrading bacteria in soil on the given period of time, concentration of emulsified petroleum product, washed from contaminated soil, also the change of concentration of free petroleum products in dependence of depth, the vertical transport of petroleum product in soil stratum and distribution of bacteria in soil stratum on a given moment of time.

The initial conditions are: the initial distribution of free petroleum product, emulsified petroleum product and bacteria. The boundary condition is the concentration of bacteria in given washing solution.

Figure.1 shows the results of modeling of gasoline contaminated soil washing with solution, containing surfactants producing bacteria. The thickness of soil stratum is 5 m, the average initial concentration of gasoline is 5 g/kg of soil.

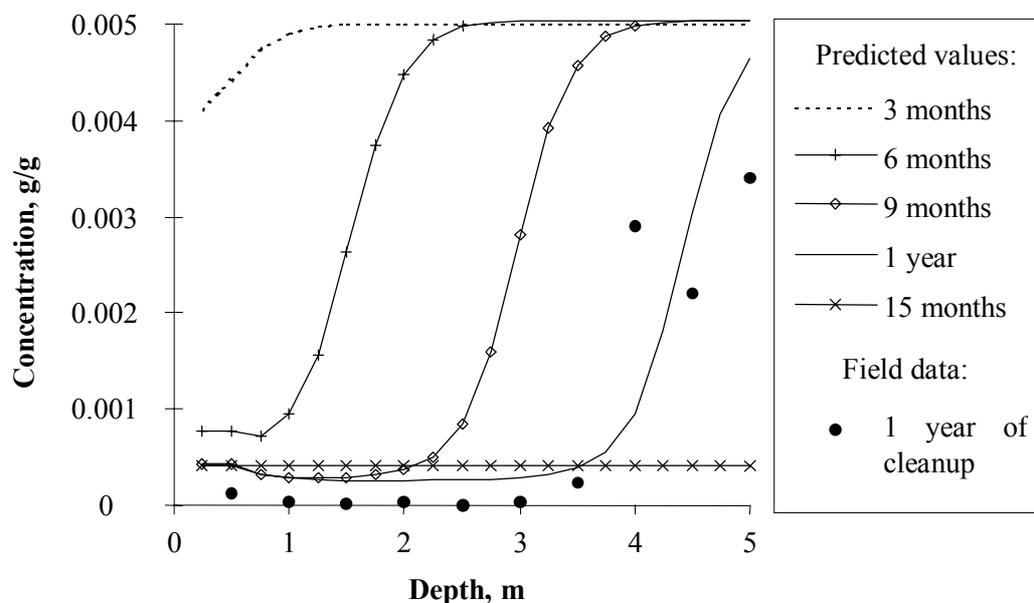


Figure 1. Predicted and observed concentration of gasoline in soil

The comparison of the predicted and field data of the concentration of gasoline in one year of remediation have shown good congruence.

This model was also verified and parameterized in series of laboratory experiments in the Institute of Microbiology carried out in collaboration with laboratory of oil microbiology of RAS.

The developed mathematical model allow to determinate the decrease of petroleum products concentration on a given period of time, change of their concentration in dependence of depth, change of bacterial concentration on a given time and depth, concentration of emulsified petroleum products, washed from contaminated soil and their vertical transport.